: https://dx.doi.org/10.22067/jgrd.2022.73181.1081

مقالهٔ پژوهشی

مجلّهٔ جغرافیا و توسعهٔ ناحیه‌ای، سال بیستم، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۴۰۱، شمارهٔ پیاپی ۳۹

بررسی بهترین راهبردهای طراحی معماری همساز با اقلیم در شهر مشهد

مختار کرمی (استادیار گروه آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران، نویسندهٔ مسئول)

m.Karami@hsu.ac.ir

مهدی شجاعی (دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران)

shojaei@modares.ac.ir_mahdi

صص ۲۲۲ ـ ۱۹۵

چکیده

معماری سازگار یا همساز با اقلیم هر منطقه جغرافیایی از هر نظر برای ایجاد آسایش اقلیمی برای ساکنان ساختمان‌های مسکونی و همچنین در بحث مصرف انرژی از اهمیت بسزایی برخوردار است. در همین راستا، در این پژوهش با استفاده از داده‌های استاندارد EPW، شهر مشهد و با به‌کارگیری نرم‌افزارهای راینو و مشاور اقلیمی، به تحلیل ساعات آفتابی با استفاده از مدل‌سازی سه‌بعدی یک منطقه دلخواه از شهر مشهد پرداخته شد. همچنین جهت باد، درجه روزهای گرمایشی و سرمایشی، میزان آسایش اقلیم حرارتی جهانی(UTCI) بررسی شد و در انتها ارائه بهترین راهبردها برای طراحی معماری سازگار با اقلیم شهر مشهد با استفاده از استاندارد (ASHRAE 55)، در بیست راهبرد خلاصه شد. از حیث سمت و سرعت باد غالب در شهر مشهد نیز جهات جنوب و جنوب شرقی هستند که عموماً درمعرض وزش باد ملایم هستند که بیشترین آن در فصل زمستان با رقمی بالغ بر ۴۲۴ ساعت خواهد

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۷ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۰۶/۰۷

بود. بیشینه درجه روزهای گرمایشی و سرمایشی به‌ترتیب بـه ماه‌هـای دی بـا ٤٥٢,٨ درجه روز و تیر ماه با رقم ١٦٥,٣ درجه روز متعلق است. بـه‌طـورکلی و در مقیـاس سالانه، درجه روزهای گرمایشی با رقم ١٩٣٧,٩ درجـه روز در مقابـل ٦٠٠,٧ درجـه روز سرمایشـی قـرار دارد. در بررسـی تنش‌هـای حرارتـی شـاخص (UTCI) نیـز به‌طورکلی می‌توان گفت، فصول بهـار و تابسـتان و بـه‌طـور خـاص اردیبهشـت مـاه بیشترین محدوده بدون تنش حرارتی هستند و ماه بهمن بیشترین تنش‌هـای سـرمایی را دارد. به‌طورکلی، در ٤٧,٨٤ درصد از ایام سال تنش حرارتی وجود نخواهد داشت. راهبردهای مؤثر بر طراحی معماری همساز با اقلیم در شهر مشهد با توجه به کـاهش رطوبت هوا در ماه‌های گرم سال، افزایش رطوبت از طریق مه‌پاش‌ها و منـابع فعـالی نظیر کولر آبی و آب‌نماها هسـتند. در راسـتای تـأمین گرمـا در ماه‌هـای سـرد سـال می‌توان با جانمایی مناسـب سـاختمان‌ها در ضـلع جنـوبی و اسـتفاده از پنجره‌هـای گسترده در این ضلع، به بهترین نحوه از گرمـا و نـور خورشـید در راسـتای کـاهش مصرف انرژی و سازگاری اقلیم و معماری بهره‌مند شد.

کلیدواژه‌ها: سازگاری با اقلیم، طراحی معماری، نیاز حرارتی، تنش حرارتی، مصرف انرژی.

۱. مقدمه

می‌توان اظهار کرد که یکی از راهکارهای مهم برای کاهش مصرف انرژی در سـاختمان‌ها، توجه به معماری همساز با اقلیم است. به حداقل رسـاندن مصـرف انـرژی‌هـای گرمایشـی و سرمایشی از ضروریات طراحی اقلیمی است. ازجمله اهداف طراحی اقلیمـی مـی‌تـوان بـه دو هدف عمده اشاره کرد: اتلاف نشدن حرارت درونی سـاختمان و نفـوذ آن بـه خـارج از آن و همچنین جذب هر چه بیشتر حرارت از سمت خورشید به‌واسطه پنجره‌های سمت جنوبی. در فصول گرم سال نیز با توجه به ضرورت سرمایش محیط، اتلـاف انـرژی و حـرارت از داخـل محیط ساختمان به محیط پیرامونی آن امری لازم و ضروری دانسته می‌شود (واتسـون[1]، ۱۹۹۳،

1. Watson

ص. ۱۸۳)؛ به بیان بهتر، طراحی معماری سازگار با اقلیم از ثمرات بازگشت انسان به طبیعت و همچنین نگاهی خردمندانه‌تر به ظرفیت‌های نهفته در این بخش از طراحی شهری و معماری است. شایان ذکر است، موضوع تأثیر اقلیم بر آسایش انسان و ساخت سکونتگاه منطبق با موضوعی دیرینه و به لحاظ تاریخی به قرن چهارم پیش از میلاد بازمی‌گردد و اصل اساسی در چنین بحثی برمبنای به حداقل رساندن نیاز به گرمایش و سرمایش مکانیکی و استفاده هر چه بیشتر از انرژی‌های طبیعی و همچنین تکیه بر معماری بومی مناسب با هر اقلیم است (فیضی و همکاران، ۱۳۹۳، ص. ۱۲۱).

در ارتباط بین اقلیم و معماری سازگار با آن، کتب و مقالات بسیاری نگاشته شده است که ازجمله آن‌ها می‌توان این موارد را ذکر کرد؛ ترجونگ[1] (۱۹۶۸) برای اولین بار نمودار زیست اقلیمی را بر پایه شاخص آسایش اقلیمی که حاصل خروجی پارامتر دما و رطوبت نسبی می‌شد، ارائه کرد. در پژوهشی، هیو[2] و چونگ[3] (۱۹۹۷) به بررسی نحوه به‌کارگیری شرایط اقلیمی محلی هنگ‌کنگ در توسعه طراحی‌های معماری و انرژی از طریق شبیه‌سازی انرژی ساختمان پرداختند. امانوئل[4] (۲۰۰۵) در پژوهشی به مطالعه اثر تغییرات پوششی سطح زمین در برآورد آسایش حرارتی در شهر کلمبو سریلانکا پرداخت و اظهار کرد که تغییرات نوع پوشش سطح زمین روند و به‌ویژه ساختمان‌ها وجاده‌ها روندی افزایشی را در برآورد آسایش حرارتی ایجاد کرده است. کُچ[5] و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی اثرات طراحی معماری را بر تهویه غیرفعال مانند جهت، عمق اتاق، دهلیز و دودکش خورشیدی در راستای ارائه راهبردی مناسب برای طراحیساختمان مدارس ارزیابی کردند. آنان براساس مطالعات موردی در ساختمان کوئینز در دانشگاه دی‌مونتفورت، برج لیبرتی دانشگاه میجی و شبیه‌سازی درمورد ساختمان خوابگاه زیست‌محیطی در چین، این سه ساختمان را برای فعالیت هم‌زمان در شرایط مختلف اقلیمی و آسایش حرارتی انتخاب کردند. آن‌ها پس از مطالعات خود اظهار کردند که

1. Terjung
2. Hui
3. Cheung
4. Emmanuel
5. Cuce

تهویه یک‌طرفه و تهویه متقاطع می‌توانند تأثیر بسزایی بـر سـرمایش و بهبـود کیفیـت هـوا در ساختمان‌های مدارس با عملکردهای مختلف داشته باشند؛ به شرطی که ارتفاع و عمق اتاق‌هـا به‌درستی طراحی شود. در مطالعه‌ای، لی[1] و همکاران (۲۰۲۱) عنوان کردند کـه چهـار پـارامتر مؤثر در طراحی ساختمان‌های سبز ازجملـه ضـخامت عـایق دیـوار خـارجی، ضـریب انتقـال حرارت سقف، ضریب افزایش حرارت خورشیدی پنجره خارجی و نسبت پنجـره بـه دیـوار، به‌طور چشمگیری در بازده انرژی و آسایش حرارتی مؤثر هستند. ترکیب بهینه از چهار پارامتر مذکور می‌تواند حدود چهار درصد در صرفه‌جویی انرژی و بهبود سطح آسایش محیطی مـؤثر باشد. بنودجعفر[2] (۲۰۲۲) در پژوهشی درباره سیستم‌های غیرفعال خنک‌سـازی فضـای بافـت سنتی مناطق خشک و بیابانی الجزایر، اظهار کرد که فشرده شدن بافت مسـکونی و جـایگزینی مناسب بازشوها نظیر درب و پنجره‌ها می‌توانند از مؤلفه‌های مهـم در کـاهش مصـرف انـرژی برای فرایند تأمین آسایش اقلیمی در این مناطق باشند.

داودی و همکاران (۱۳۸۹) در مقالـه‌ای بـه پـیش‌بینـی تعـدادی از عناصـر اقلیمـی مشـهد پرداختند. آنان برای متغیر دما روندی افزایشی و معنادار متصور شدند؛ این درحالی اسـت کـه رطوبت نسـبی و یخبنـدان‌ها دارای رونـدی کاهشـی هسـتند. بـه‌طـورکلی، آن‌هـا بـا بررسـی روش‌های آمبرژه و دمارتن، اقلیم مشهد را نیمه‌خشک تعیین کرده‌اند؛ هرچند در روش کـوپن اقلیم این منطقه مدیترانه‌ای تشخیص داده شده است. این پژوهش به‌دلیل شناسایی تیپ اقلیمی مشهد از منظر معماری همساز با اقلیم در سایر مقالات مرتبط مدنظر قرار گرفته است. گرجـی مهلبانی و همکاران (۱۳۹۰) به معماری شهر کاشان بـا در نظـر گـرفتن شـرایط اقلیمـی شـهر کاشان و با استفاده از روش تحلیل گیونی پرداختند. آن‌ها بر معماری سازگار با اقلـیم در ابنیـه تاریخی این شهر تأکید کرده و اظهار کردند که بـه فراخـور شـرایط جـوی در مـاه جولـای و هم‌زمان با کاهش رطوبت هوا بهتر اسـت از طریـق راهبردهـای مکـانیکی بـه محـیط داخلـی ساختمان رطوبت تزریق شود تا دامنه تأمین آسایش اقلیمی گسترش بیشتری یابـد. تفـاخری و

1. Li
2. Benoudjafer

طاهری (۱۳۹۵) در پژوهشی به ارائه راهکارهـای معمـاری متناسـب بـا اقلـیم خـاص مشـهد پرداختند و به این موضوع اشاره کردند که با توجه به اقلیم این منطقه، درمجموع یـک مـاه از سال دمای مشهد در محدوده آسایش اقلیمی است و این امر را دلیلی بر حـاکم بـودن اقلیمـی گوناگون در این منطقه دانستند. در پژوهشی دیگر و با هدف ارائه راهبردهای معماری همسـاز با اقلیم و در محدوده مطالعاتی شهر یزد، با توجه به استاندارد اشر ۵۵[1]، بیسـت نـوع راهبـرد[2] برای افزایش ساعات آسایش در محیط ساختمان مطـرح شـد (انتظـاری و همکـاران، ۱۳۹۹). حسنی و همکاران (۱٤۰۰) با استفاده از روش تحلیل فازی و منطقی به مطالعه اثرات طراحـی شهری بر تغییر اقلیم در سطح شهر مشهد پرداختند. آن‌ها عنوان کردند که فضاهای باز و سـبز عمومی کمتر دستخوش تأثیرپذیری از تغییرات اقلیمی خواهند بـود و نقـش متعـادل‌کننـده در برابر این تغییرات را فراهم خواهند آورد. همچنین تراکم بافت شهری در شهر مشهد می‌توانـد اثرات تغییر اقلیم را کاهش دهد. در مطالعه‌ای دیگر با هدف بررسی سـطح سـلامت روحـی و جسمی افراد ساکن در مجتمع مسکونی ششصد دستگاه شهر مشهد، عنـوان شـد کـه مجتمـع مسکونی مذکور از نظر اقلیم و دریافت انرژی خورشیدی توانسته است تا حد بسـیار مطلـوبی رضایتمندی ساکنان را برآورده کند. در راستای مباحث معماری سازگار با اقلیم ازجمله توجـه به جهت تابش خورشیدی و باد، توانسته است امتیاز مطلوبی را از منظـر سـاکنان آن دریافـت کنـد (مجتبـوی و همکـاران، ۱٤۰۱). فـرخزاد و روشـن (۱٤۰۱) پژوهشـی، بـا هـدف ارائـه رویکردهای مناسب و راهبردی کلی برای معماران و طراحان سـاختمانی در پهنـه جغرافیـایی کشور انجام دادند. آن‌ها اظهار کردند که حفظ حرارت داخلی ساختمان و کاهش اتلاف انرژی با روش عایق‌سازی پوشش خارجی بنا و همچنین استفاده از پنجره‌های چندجداره و مسـدود کردن منافذ محتمل ساختمان، ازجمله راهبردهـای مهـم در تمـامی نقـاط کشـور در راسـتای برآورده کردن کاهش مصرف انرژی در ساختمان و همساز ساختن معمـاری بـا اقلـیم اسـت. همچنین استفاده از تهویه شبانه با بهره‌مندی از جرم حرارتی برای تمامی نقاط کشـور مناسـب

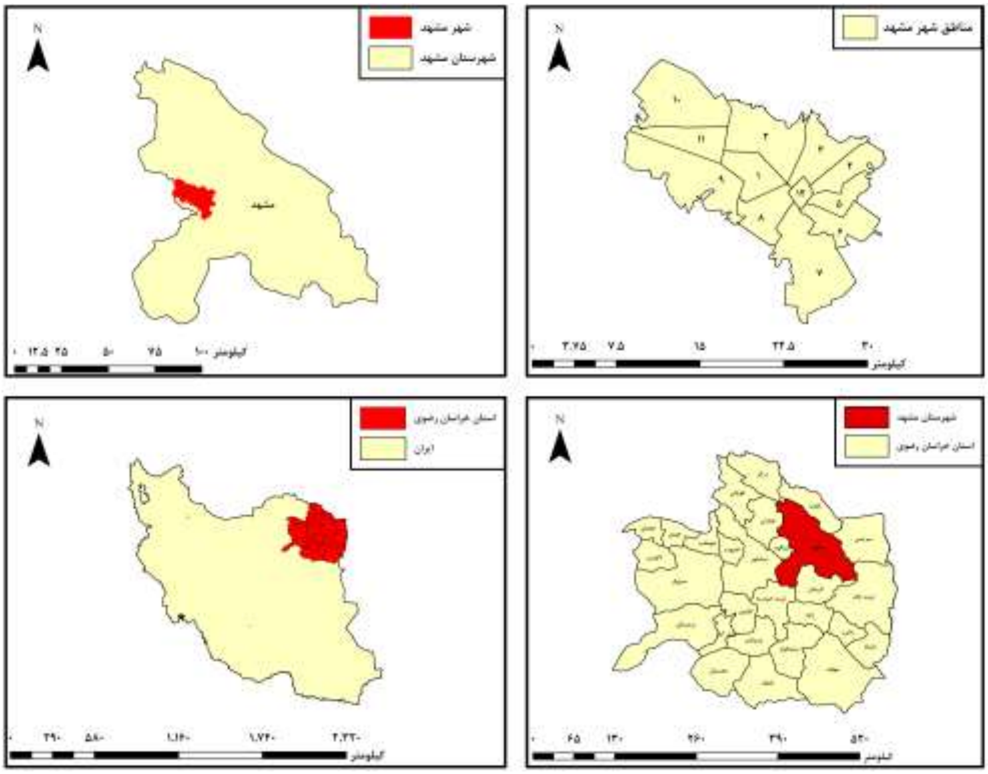
1. ASHRAE 55
2. Strategy

قلمداد شده است. این پژوهش نیز با هدف ارائه راهکارهای معماری سازگار با اقلیم با تمرکز بر شهر مشهد و با استفاده از مدل استاندارد اشر ۵۵، در راستای توضیح و تبیین وضعیت اقلیمی این شهر، تدابیر ضروری برای استفاده بهینه از انرژی در ساختمان و درنهایت بومی سازی معماری همساز با اقلیم در شهر مشهد انجام شده است.

۲. روش‌شناسی تحقیق

۲. ۱. منطقهٔ موردمطالعه

شهر مشهد به‌عنوان مرکز استان خراسان رضوی در دشتی به هم‌نامی خود در شمال شرقی کشور و حد فاصل مناطق کوهستانی واقع شده است. این شهر در موقعیت شهرستانی خود از شمال به رشته‌کوه کپه‌داغ و کوه‌های هزارمسجد و در جنوب به ارتفاعات بینالود منتهی می‌شود. همسایگان شرقی و غربی این شهر به‌ترتیب شهرهای سرخس و نیشابور هستند. می‌توان گفت که این شهر در محدوده آب و هوایی نیمه خشک قرار گرفته است (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۰). شهر مشهد ۱۲ منطقه شهرداری دارد که موقعیت این شهر در مقیاس‌های کشوری، استانی و شهرستانی به تصویر کشیده شده است (شکل ۱).



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی شهر مشهد در استان خراسان رضوی

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱٤۰۱

۲. ۲. روش کار

داده‌های این پژوهش از داده‌های استاندارد EPW[1] که دپارتمان انرژی ایالات متحده[2] معرفی کرده است و به‌واسطه نصب افزونه[3] KML[4] مربوط به آسیا در محیط نرم‌افزار Google Earth Pro، در دوره زمانی پانزده‌ساله از ۲۰۰٤ تا ۲۰۱۸ برای شهر مشهد استخراج شد. داده‌های مذکور به‌صورت ساعتی برای هر سال و در ۸۷٦۰ سطر برای ساعات

1. Energy Plus Weather(EPW)
2. US Department of Energy
3. Extension
4. Keyhole Markup Language

هر سال تهیه و تنظیم شده‌اند و توسط متخصصان اقلیم‌شناس و برای داده‌های ماهانه واقعی ثبت شده‌اند. داده‌های استفاده‌شده در این پژوهش از نوع TMY[1] بوده و با استاندارد ISO 2005)۱۵۹۲۷۰٤:۲۰۰۵) منطبق‌اند که حاصل همکاری مرکز ملی داده‌های اقلیمی ایلات متحده[2] و آزمایشگاه ملی ساندیا[3] هستند (کراورلی[4] و لاوریس[5]، ۲۰۱۹: ۲). در این نوع داده‌ها ممکن است ماه‌ها از سال‌های مختلف انتخاب شوند، اما به‌طورکلی هدف از تولید داده‌های EPW این است که میانگین‌های دمایی درازمدت ایستگاه مدنظر در داده‌های EPW مندرج شوند و تا حد امکان میانگین بیشینه‌ها و کمینه‌های دمایی به‌دلیل به‌هم‌نخوردگی در داده‌های ماهانه نیز در نظر گرفته شوند (میلنی [6] و همکاران، ۲۰۰۷). دلیل استفاده از داده‌هایEPW، استفاده در بهترین حالت از امکانات افزونه‌های لیدی باگ[7] در محیط نرم‌افزاری راینو[8] و همچنین ورودی مخصوص داده‌های اقلیمی در نرم افزار مشاور اقلیمی[9] بوده است. در جدول ۱ می‌توان مروری بر داده‌های ثبت‌شده آب و هوایی کرد که به‌صورت میانگین ساعتی به‌جز پارامترهای عمق برف و عمق بارش مایع که به‌صورت میانگین روزانه درج می شوند، در جدول مرتبط گردآوری شده‌اند. شایان ذکر است که در کنار پارامترهای آب و هوایی ذکرشده در جدول ۱ و ردیف ۱۲ آن، در صورتی که پدیده‌های جوی در روزی از سال نیز توسط دیده‌بان ثبت شوند، به مجموعه داده‌های جدول مذکور اضافه می‌شود که این پدیده‌های جوی با استفاده از کدهای مربوط به هریک از آن‌ها ثبت می‌شوند.

1. Typical Meteorological Year
2. National Climatic Data Center (NCDC)
3. Sandia National Laboratory (SNL)
4. Crawley
5. Lawrie
6. Milne
7. Ladybug
8. Rhino
9. Climate Consultant

جدول ۱. داده‌های آب و هوایی ثبت‌شده در فایل (EPW)

مآخذ: والتون[1]، ۱۹۸۳؛ کلرک [2]و آلن[3]، ۱۹۷۸، ص. ٦٧٥

ردیف	پارامتر اقلیمی	واحد اندازه‌گیری
۱	دمای خشک سطح	Degrees C°
۲	دمای تر	Degrees C°
۳	رطوبت نسبی	Percent
٤	فشار اتمسفر ایستگاه	Pa
٥	شدت تابش افقی اشعه فروسرخ	Wh/m^2
٦	تابش افقی جهانی	Wh/m^2
۷	تابش نرمال مستقیم	Wh/m^2
۸	تابش افقی پراکنده	Wh/m^2
۹	جهت باد	Degrees
۱۰	سرعت باد	m/s
۱۱	پوشش کل آسمان	۱۰/۱۰
۱۲	وقوع پدیده‌های جوی(توفان، رعد و برق و..)	کد ۰ تا ۹
۱۳	عمق برف	Cm
۱٤	عمق بارش مایع	mm

۲. ۲. ۱. استاندارد اشر ٥٥

استانداد اشر ٥٥، برای اولین بار در سال ۱۹٦٦ منتشر شد و پس از آن نیز در سال‌های ۱۹۷٤، ۱۹۸۱ و ۱۹۹۲ دوباره با تجدیدنظر منتشر شد. استاندارد مذکور در به‌روزرسانی سال ۲۰۰٤ به آیین‌نامه تبدیل شد و تاکنون نسخه ۲۰۱۷ آن با هشت ضمیمه استفاده شده است. چهارچوب کلی این استاندارد عبارت است از:

1. Walton
2. Clark
3. Allen

- عوامل محیطی که در این استاندارد استفاده می‌شوند، عبارت‌اند از: دما، حرارت تابشی، رطوبت و سرعت هوا. عوامل انسانی نیز شامل نوع فعالیت و پوشش است؛
- هدف اصلی از به‌کارگیری تمامی ملاک‌های مختلف در جهت فراهم آوردن آسایش در فضای داخلی با وجود پیچیدگی‌ها و عوامل مختلف آن است؛
- ارائه آسایش حرارتی قابل‌قبول برای سلامت بزرگسالان در محیط داخلی در اماکنی که تا ارتفاع ۳۰۰۰ متری هستند و مدت اسکان افراد در آن کمتر از ۱۵ دقیقه نباشد؛
- این استاندارد به عوامل غیرحرارتی محیطی نظیر کیفیت هوا، اکوستیک صدا، روشنایی، یا سایر عوامل فیزیکی، شیمیایی یا آلاینده‌های محیط بیولوژیک که بر سلامت و آسایش مؤثرند، نمی‌پردازد؛
- از این استاندارد نباید برای ایمنی، سلامت و فرایندهای نیازهای حیاتی استفاده شود.

۲. ۲. ۲. محاسبه درجه روزهای گرمایشی و درجه روزهای سرمایشی[1]

در ادامه برای برآورد دقیق نیاز سرمایشی و گرمایشی در شهر مشهد و لزوم در نظر گرفتن مصرف بهینه انرژی در معماری سازگار با اقلیم با اتکا به داده‌های EPW و با استفاده از افزونه‌های لیدی‌باگ در نرم افزار راینو، به محاسبه این دو مؤلفه اقدام شد. نحوه محاسبه درجه روزهای گرمایشی در رابطه (۱) توضیح داده شده است.

رابطه (۱): $HDD = \sum_{i=1}^{n}(T_{bh} - T_{meani})$

در رابطه (۱)، T_{meani} معادل میانگین دمای روزانه هواست که از طریق فرمول $T_{meani}=(T_{maxi}+T_{mini})/2$ محاسبه می‌شود که در فرمول ذکرشده، T_{max} معرف بیشینه دمای روزانه و T_{min} معادل کمینه دمای روزانه است. T_{bh} نیز معرف دمای پایه نیاز گرمایشی

1. Heating Degree Days (HDD) and Cooling Degree Days (CDD)

در این پژوهش است که ۲۳/۳ درجه سانتی‌گراد است. در ادامه و در رابطه (۲) نحوه محاسبه درجه روزهای سرمایشی ذکر شده است.

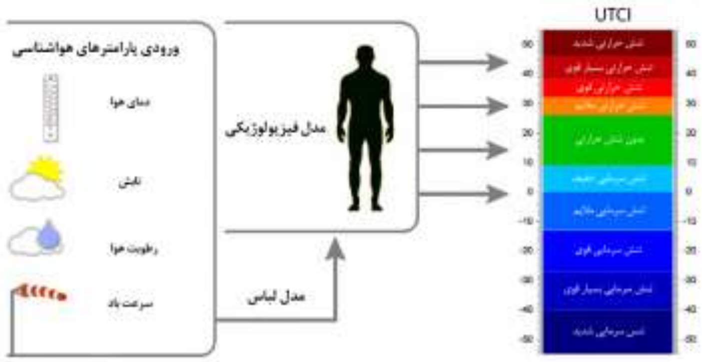
رابطه (۲): $CDD = \sum_{i=1}^{n}(T_{meani} - T_{bC})$

در رابطه (۲)، T_{bc} معادل دمای پایه سرمایشی (۱۸/۳درجه سانتی‌گراد) است که در این پژوهش مدنظر است (جیانگ [1] و همکاران، ۲۰۰۹).

۲. ۲. ۳. میزان آسایش اقلیم حرارتی جهانی[2] شهر مشهد

شاخص آسایش اقلیم جهانی یا به‌اختصار (UTCI)، در سال ۲۰۰۵ توسط سازمان همکاری‌های توسعه فناوری و علوم اروپا[3] براساس مدل ترموفیزویولوژیک معرفی شد. این شاخص ازجمله شاخص‌های هواشناسی زیستی به حساب می‌آید که در آن از پارامترهای مختلف فیزیولوژیک و اقلیمی استفاده شده است. این شاخص براساس معیارهای به‌دست‌آمده از واکنش‌های حاصل از بیشتر از ۱۰ دسته تنش حرارتی دسته‌بندی می‌شود که در شکل ۲ این مدل به‌صورت شماتیک توضیح داده شده و دسته‌بندی‌های تنش حرارتی آن نیز ذکر شده است. روش‌های مختلف اندازه‌گیری این شاخص به‌تفصیل در مقاله بلیزی چک [4] و همکاران (۲۰۱۳) آورده شده است که برای کوتاهی سخن ذکر نشده است. در این پژوهش، تنش‌های حرارتی در هفت دسته و براساس جدول ۲، دسته‌بندی و بررسی شده است. در ادامه نیز برای برآورد بهتر میزان تنش‌های مختلف در قیاس سالانه، دسته‌بندی مطابق با جدول ۳ انجام گرفت و خروجی آن به شکل نمودار سهمی دایره‌ای در قسمت نتایج گنجانده شد.

1. Jiang
2. Universal Thermal Climate Index (UTCI)
3. Cooperation in Science and Technical Development (COST)
4. Blazejczyk



شکل ۲. طرح‌واره‌ای از شاخص UTCI و دسته‌بندی تنش‌های حرارتی این شاخص

مأخذ: بورد[1] و همکاران، ۲۰۱۱

جدول ۲. دسته‌بندی انواع تنش حرارتی بررسی‌شده در این پژوهش

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۱

ردیف	طبقه‌بندی	شاخص UTCI برحسب درجه سانتی‌گراد	رنگ
۱	تنش حرارتی قوی	بیش از ۳۲	
۲	تنش حرارتی ملایم	+۲۸ تا +۳۲	
۳	تنش حرارتی خفیف	+۲۶ تا +۲۸	
٤	بدون تنش حرارتی	+۹ تا +۲٦	
٥	تنش سرمایی خفیف	+۹ تا ۰	
٦	تنش سرمایی ملایم	۰ تا ۱۳−	
۷	تنش سرمایی قوی	کمتر از ۱۳−	

جدول ۳. دسته‌بندی درصدهای تنش حرارتی به‌صورت سالانه استفاده‌شده در این پژوهش

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۱

ردیف	نام دسته	میزان تنش حاصل از شاخص UTCI
۱	درصد زمان‌های آسایش	محدوده بدون تنش
۲	درصد آسایش کوتاه مدت	محدوده تنش خفیف
۳	درصد تنش‌های سرمایی	محدوده تنش سرمایی ملایم و قوی

1. Bröde

ردیف	نام دسته	میزان تنش حاصل از شاخص UTCI
٤	درصد تنش‌های گرمایی	محدوده تنش گرمایی ملایم و قوی

۳ . یافته‌های تحقیق

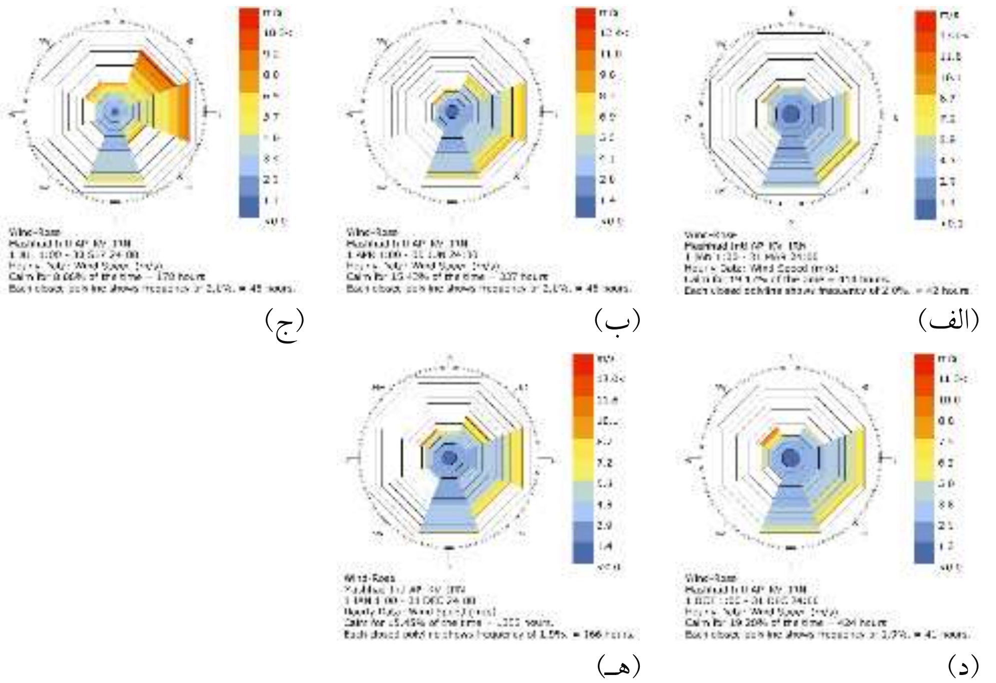
در ابتدا با بررسی میانگین توزیع فصلی باد در گلبادها (شکل ۳)، می‌توان عنوان کرد که با توجه به شکل (۳، الف)، سرعت باد در شهر مشهد و در فصل بهار، عمدتاً از سمت شرق و جنوب شرقی است و مجموع ۱۵,٤۳ درصد از ساعات این فصل که معادل با ۳۳٦ ساعت است، در محدوده وزش باد آرام قرار گرفته است. در شکل (۳، ب) که نمایانگر توزیع مؤلفه باد در فصل تابستان است، می‌توان اظهار کرد که در این فصل بیشترین سرعت باد و جهت وزش باد به سمت جهت شمال شرقی و بعد از آن شرق و جنوب این شهر است که درمجموع ۸,۰٦ درصد جریان بادی در محدوده آرام بوده که برابر با ۱۷۸ ساعت است.

با توجه به شکل (۳، ج) می‌توان گفت که در فصل پاییز سمت و سرعت باد به نسبت فصل تابستان کاهش یافته است و مانند فصل بهار جهت غالب وزش باد به سمت جهات شرقی، جنوب شرقی و جنوب است؛ البته وزش شدیدتر باد به سمت جهات شرقی و شمال غربی است که به‌ترتیب ارقام بیش از ۱۱,۳ و ۱۰ متر بر ثانیه را نشان می‌دهد و درمجموع در این فصل شاهد ۱۹,۲۰ درصد وزش باد آرام هستیم که نماینده ٤۲٤ ساعت وزش این باد است.

در ادامه و با نگاهی به شکل (۳، د) می‌توان گفت که سمت و سوی وزش باد در فصل زمستان بیشتر به جهات شرقی و جنوب شرقی است؛ این در حالی است که سرعت باد در جهت جنوب کاهش یافته است و به‌طورکلی، ۱۹,۱۷ درصد یا به عبارت بهتر، ٤۱٤ ساعت وزش باد آرام را در فصل زمستان انتظار خواهیم داشت.

همچنین با توجه به شکل (۳، هـ) که بیانگر میانگین سالانه سمت و سرعت باد در مجموعه ساعات سال است، می‌توان اظهار کرد که عمدتاً وزش باد سمت و سوی شرقی، جنوب شرقی و جنوبی در محدوده شهر مشهد را نشان می‌دهد؛ البته وزش بادی با سرعت بیش از ۱۱ تا ۱۲,٤ متر بر ثانیه را در جهت شمال غربی آن هم درمجموع ٤٦ ساعت در سال

را می‌توان مشاهده کرد. در ادامه، ۱۵,٤۳ درصد از ساعات سال یا به‌عبارتی ۳۳۷ ساعت، وزش آرام در این شهر را انتظار خواهیم داشت.



شکل ۳. نمودار گلباد و نیمرخ باد درشهر مشهد، شکل (الف): بهار، شکل (ب): تابستان، شکل (ج): پاییز، شکل (د): زمستان، شکل (هـ): میانگین سالانه

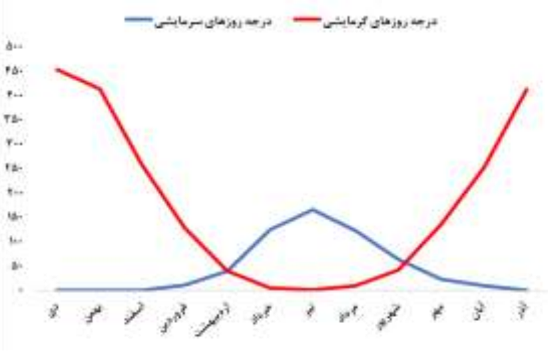
مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱٤۰۱

در بررسی درجه روزهای گرمایشی و سرمایشی در مقیاس ماهانه شهر مشهد که در شکل (٤، الف) آورده شده است، می‌توان اظهار کرد که کمترین میزان درجه روزهای گرمایشی در این شهر به ماه‌های گرم سال یعنی خرداد، تیر و مرداد ماه متعلق است که به‌ترتیب دارای ارقام ٤,۳، ۱,۲۳ و ۹,۲۳ درجه روز است و به‌دنبال آن، بیشترین درجه روزهای گرمایشی در سایر ماه‌ها به‌ویژه ماه‌های سرد سال مشهود است که بیشترین میزان نیاز گرمایشی به ماه‌های دی، بهمن و آذر به‌ترتیب با ارقام ٤۵۲,۸، ٤۱۳,٤ و ٤۱۲,۲ اختصاص یافته است. در بحث درجه روزهای سرمایشی نیز بیشترین نیاز سرمایشی از اردیبهشت تا شهریور ماه قابل‌انتظار است.

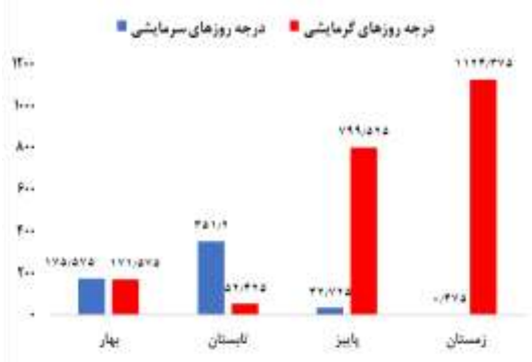
کمترین نیاز سرمایشی و درجه روزهای سرمایشی نیز به ماه‌های سرد سال نظیر دی تا فروردین و از مهر تا آذر ماه متعلق است. شایان ذکر است که درجه روزهای سرمایشی در ماه‌های آذر، دی و بهمن به صفر درجه می‌رسد و در بیشترین حالت نیز در تیر ماه به ١٦٥,٤٣ درجه روز خواهد رسید. در بررسی تفاضل بین دو مؤلفه درجه روزهای گرمایشی و سرمایشی در مقیاس ماهانه می‌توان گفت که کمترین اختلاف در اردیبهشت ماه به میزان ۰,۱۳ درجه روز می‌رسد. بیشترین اختلاف نیز در دی ماه با رقمی درحدود ٤٥٢,٨ درجه روز است.

در شکل (٤، ب) که حاکی از نحوه توزیع فصلی درجه روزهای گرمایشی و سرمایشی است، می‌توان بیان کرد که درکل در فصل بهار تقریباً تعادلی بین نیاز گرمایشی و سرمایی فرض‌شدنی خواهد بود که اختلاف بین این دو مؤلفه در این فصل درکل ٤ درجه روز است. در فصل تابستان درجه روزهای گرمایشی درحدود ٥٢,٤٢ درجه روز است که کمترین میزان درجه روز گرمایشی در مقیاس فصلی است. در بررسی درجه روز سرمایشی نیز فصل مذکور بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است که میزان آن عددی درحدود ۳٥۱,۲ درجه روز سرمایشی است. درنهایت، در بررسی نیاز گرمایشی فصول پاییز و زمستان می‌توان گفت که در این فصول رقم درجه روزهای گرمایشی بیشتر از سایر فصول است که به‌ترتیب ارقام ۷۹۹ و ۱۱۲۳ درجه روز را به خود اختصاص داده‌اند؛ این در حالی است که درجه روزهای سرمایشی در این فصول به کمترین حد ممکن می‌رسد و به‌طورکلی در فصل زمستان به عددی درحدود ۰,٤٧ درجه روز تقلیل می‌یابد.

با توجه به شکل (٤ ج) می‌توان اظهار کرد که درمجموع، سالانه نیاز گرمایشی و درجه روزهای گرمایشی در این شهر با رقمی درحدود ۱۹۳۷,۹ درجه روز مشهودتر از درجه روزهای سرمایشی است که حدود ٦۰۰,۷ درجه روز را برای خود تعریف کرده است.



(الف)



(ب)



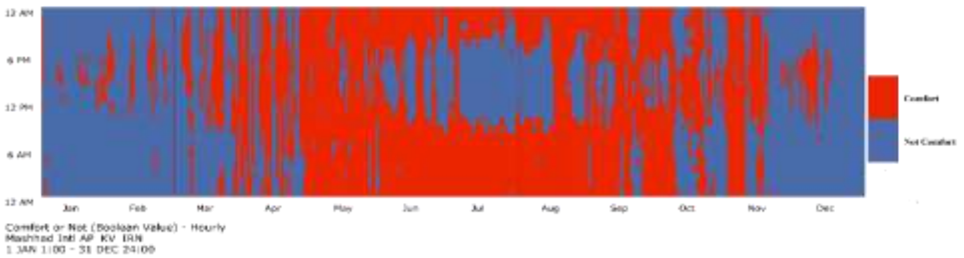
(ج)

شکل ٤. درجه روزهای گرمایی و سرمایشی در مقیاس ماهانه شهر مشهد، (الف): نمودار توزیع درجه روزهای گرمایشی و سرمایشی در مقیاس ماهانه، (ب): نمودار توزیع درجه روزهای گرمایشی و سرمایشی در مقیاس فصلی، (ج): نمودار توزیع درجه روزهای گرمایشی و سرمایشی در مقیاس سالانه

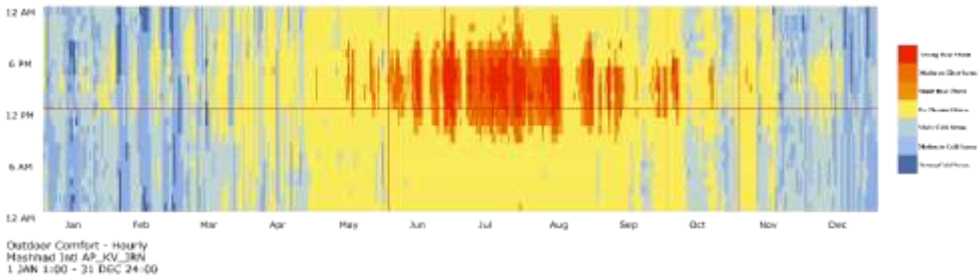
مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱٤۰۱

با بررسی میزان اقلیم حرارتی جهانی UTCI شهر مشهد و با توجه به شکل ۵) که در سه نوع نمودار توزیع خروجی میزان شاخص اقلیم حرارتی به‌صورت ساعتی و در مقیاس ماهانه تهیه و تنظیم شده است، می‌توان گفت که در شکل (۵، الف) که براساس وجود تنش‌های دمایی و نبود آن‌ها در دو دسته مختلف تقسیم‌بندی شده است، به‌وضوح مشخص است که شهر مشهد در ماه‌های بهار و تابستان میزان آسایش و کاهش تنش‌های دمایی بیشتری را در مقایسه با سایر ماه‌های فصول دیگر شاهد خواهد بود؛ البته درحدود ساعات ۱۲ ظهر تا ٦ عصر ماه‌های فصل بهار و تابستان که شامل ماه‌های خرداد (ژوئن)، تیر (جولای)، مرداد (آگوست) و شهریور (سپتامبر) است. درمجموع، ماه اردیبهشت (می) کمترین میزان را از لحاظ تنش‌های دمایی دارا خواهد بود و بیشترین تنش دمایی نیز به ماه‌های دی (ژانویه)، بهمن (فوریه) و آذر (دسامبر) متعلق خواهد بود. در ادامه با بررسی شکل (۵، ب) که در هفت گروه مختلف به بررسی شاخص مذکور پرداخته شده است، می‌توان بیان کرد که اوج تنش‌های حرارتی قوی که معادل دماهای بالای ۳۲ درجه سانتی‌گراد است، بیشتر در فصل تابستان و در بازه ماه‌های خرداد تا شهریور (ژوئن تا سپتامبر) و به‌ویژه در تیر ماه (جولای) قابل‌مشاهده است. ذکرشدنی است که بازه بدون تنش‌های دمایی ۹ تا ٢٦ درجه سانتی‌گراد نیز در همین بازه زمانی و مختص به ساعات ٦ عصر تا پیش از حدود ساعت ۱۲ ظهر روز بعد است. با توجه به همان شکل و با درنظرگرفتن دامنه تنش‌های سرمایی می‌توان گفت، کمترین محدوده بدون تنش حرارتی با بیشترین پیشروی قلمرو تنش‌های سرمایی مصادف شده است؛ به‌نحوی‌که در ماه‌های سرد سال از مهر ماه (اکتبر) تا فروردین ماه (آوریل)، این طبقه بدون تنش دمایی کاهش چشمگیری خواهد داشت و تنش‌های سرمایی نیز به‌مرور در ماه‌های آذر (دسامبر)، دی (ژانویه)، بهمن (فوریه) و اسفند (مارس) در دسته تنش‌های سرمایی ملایم یعنی در بازه کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد قرار خواهد گرفت؛ به‌طوری‌که اوج آن در بهمن ماه و درحدود ساعات ٦ عصر تا قبل از ٦ صبح روز بعد است. درنهایت، با توجه به نمودار سهمی شکل (۵، ج) تنش‌های دمایی در چهار گروه ذکرشده در جدول ۳، تهیه و تنظیم شده است. با توجه به گفته‌های قبل می‌توان درمجموع بازه بدون تنش را به‌طور متوسط سالانه ٤٧,٨٤ درصد، بازه تنش‌های دمایی خفیف را ۲۷,٦٨ درصد، تنش‌های سرمایی را ١٦,٤٥ درصد و

تنش‌های گرمایی را ۸,۰۲ درصد و درمقیاس مجموع سالانه بـرآورد کـرد. بـا توجـه بـه ایـن توضیحات می‌توان اظهار کرد که محدوده بدون تنش‌های حرارتی و تنش‌های خفیف بیشترین سهم را باتوجه به خروجی شاخص UTCI دارد که درمجموع ۷۵,۵۲ درصد است.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۵. نمودارهای نحوه توزیع شاخص اقلیم حرارتی جهانی (UTCI)، شهر مشهد در دسته‌بندی‌های تعریف‌شده. (الف): نمودارتوزیع شاخص UTCI، در دو دسته بدون تنش و دارای تنش در مقیاس ماهانه و در بازه ساعتی، (ب): نمودار توزیع شاخص UTCI، در هفت دسته تنش حرارتی در مقیاس ماهانه و در بازه ساعتی، (ج): نمودار سهمی مجموع سالانه از خروجی شاخص UTCI در چهار دسته از تنش‌های حرارتی به صورت درصدی

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۱

۳. ۱. راهبردهای معماری سازگار با اقلیم شهر مشهد باتوجه به ظرفیت باد و نور

با هدف تعیین بهترین راهبرهای طراحی معماری سازگار با اقلیم شهر مشهد، با استفاده از نرم‌افزار مشاور اقلیمی بهترین راهبردها که به‌عنوان ۲۰ رهنمود توسط این نرم‌افزار ارائه شد، در شکل ۷ تهیه و تنظیم شده اس. این راهبردها با توجه به استاندارد اشر ۵۵ و با درنظر گرفتن کمترین مصرف انرژی اضافی و اتکای هرچه‌بیشتر به عوامل طبیعی نظیر توزیع نور، سایه‌ها، وزش باد غالب، جهت‌گیری مناسب اجزای ساختمان نظیر درب و پنجره‌ها و سایر راهبردهایی ارائه شد که به‌صورت غیرفعال می‌توانند آسایش حرارتی افراد را در واحدهای مسکونی تأمین کنند. در جدول ٤، دسته‌بندی بهترین راهبردها به تفکیک درصد تعداد ساعاتی ارائه شده است که می‌توانند آسایش اقلیمی را براساس استاندارد اشر ۵۵ ایجاد کنند. در شکل ٦ نیز محدوده آسایش اقلیمی در نمودار زیست اقلیمی نمایش داده شده[1] که با استفاده از نرم‌افزار راینو ترسیم شده است. با توجه به شکل ٦ می‌توان استدلال کرد که بهترین محدوده آسایش اقلیمی در شهر مشهد تنها با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی می‌تواند در بازه دمایی حدود ۲۲,۵ تا ۳۲,۵ درجه سانتی‌گراد و در رطوبت نسبی ۱۰ تا ۳۰ درصدی تأمین شود. همچنین میزان مصرف انرژی در راستای دستیابی به چنین درجه‌ای از آسایش اقلیمی معادل مقادیری درحدود ٦١ تا ۹۵ کیلوژول بر کیلوگرم است. شایان ذکر است که کیلوژول بر کیلوگرم مضرب اعشاری واحد مشتق‌شده از دستگاه بین‌المللی یکاها (SI)[2]، انرژی ویژه، مقدار گرمایش، محتوای انرژی یا گرمای احتراق در واحد جرم ژول در کیلوگرم است. ژول بر کیلوگرم برابر با انرژی مفید آزادشده از یک کیلوگرم جرم سوخت در طی احتراق کامل آن است.

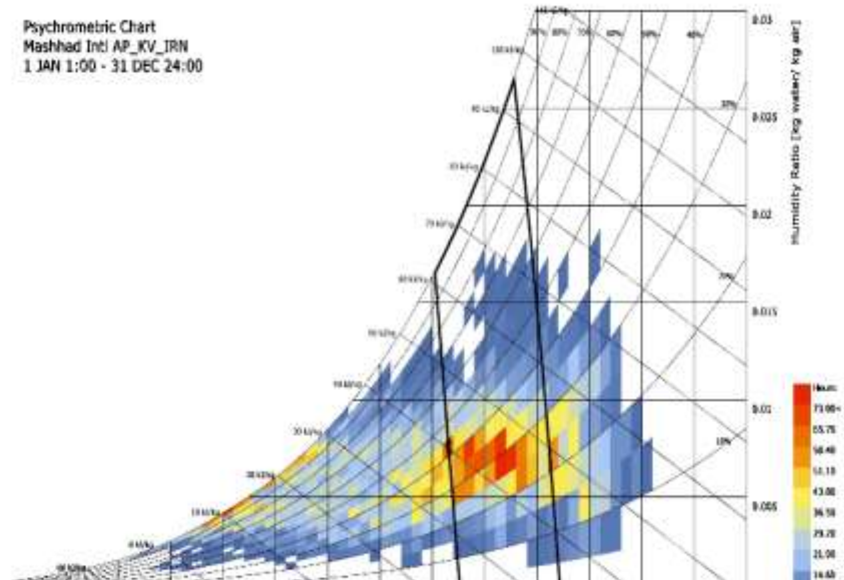
---

1. Psychometric
2. Système international d’unités

جدول ٤. بهترین راهبردهای کلی برای تأمین آسایش اقلیمی در شهر مشهد براساس استاندارد اشر ۵۵

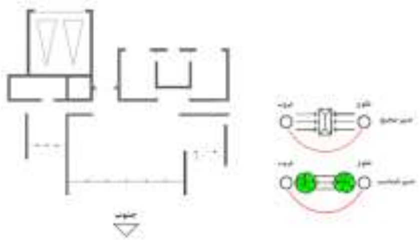
مأخذ: نرم‌افزار مشاور اقلیمی نسخه ٦

ردیف	نوع راهبرد طراحی	درصد ایجاد آسایش اقلیمی	تعداد ساعات ایجاد آسایش اقلیمی
۱	سایه‌انداز پنجره‌ها	۱٦,٤	۱٤۳۸
۲	سرمایش تبخیری دومرحله‌ای	۲٤,۲	۲۱۱۹
۳	افزایش حرارت داخلی	۱۵,٤	۱۳٤۵
٤	افزایش دریافت مستقیم انرژی غیرفعال خورشیدی	۱۲,۹	۱۱۳۰
۵	مرطوب کردن محیط	۹,٤	۸۲۱
٦	سرمایش از طریق رطوبت‌گیری‌ها	۰,۲	۱۷
۷	گرمایش از طریق رطوبت‌زایی	۳۳,۲	۲۹۰٤

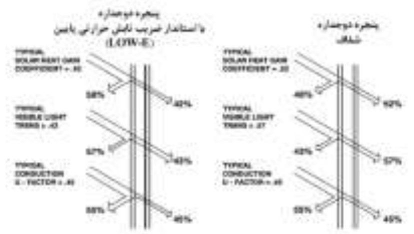


شکل ٦. نمودار سایکرومتریک، محدوده آسایش اقلیمی شهر مشهد

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱٤۰۱



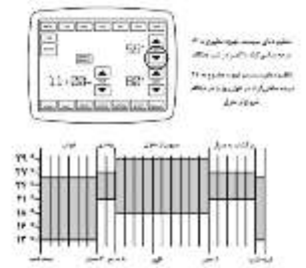
راهبرد ۱ (رهنمود ۱۹): برای بهره‌گیری از گرمایش غیرفعال (بدون مصرف انرژی) خورشیدی نیاز است که محدوده پنجره در ضلع جنوبی قرار گیرد تا به‌طور حداکثری درمعرض تابش خورشیدی در فصل زمستان قرار گیرد و در تابستان نیز کاملاً سایه داشته باشد. در طراحی‌های معماری سازگار با اقلیم باید به این نکته توجه داشت که پنجرهای ضلع جنوبی که وظیفه دریافت انرژی خورشیدی در فصل زمستان و نور ساختمان را بر عهده دارند، حتماً باید بدون مانعی فیزیکی رو به روی خود باشند تا بتوان بدین طریق بیشترین بهره‌مندی از خورشید را در هنگام طلوع و غروب میسر کرد.



راهبرد ۲ (رهنمود ۲۰): استفاده از پنجره‌های دوجداره با استاندارد لعاب ضریب تابش حرارتی پایین (LOW-E) در ضلع‌های غربی، شمالی و شرقی و پنجره‌های شفاف در ضلع جنوبی برای دریافت بهتر انرژی خورشیدی. باید به نوع پنجره‌های ساختمان در ضلع‌های مختلف ساختمان توجه ویژه شود و در نظر گرفته شود که پنجره‌های ضلع جنوبی حتماً از نظر عایق نور بودن حداقل استانداردها را داشته باشد تا بتوان امیدوار بود که در فصل زمستان و مایل شدن بیشتر زاویه تابشی خورشید، انرژی گرمایی خورشیدی بیشتری دریافت شود.



راهبرد ۳ (رهنمود ۶۱): خانه‌های سنتی در آب و هوای گرم و خشک از ساخت‌وساز با تراکم بالا با دهانه‌های سایه‌دار کوچک استفاده می‌کنند که برای خنک کردن ساختمان در شب قابل‌استفاده است. با توجه به نحوه دریافت تابش خورشیدی لازم است تا حد امکان بافت شهری فشرده‌تر شده و راهبردهای غیرفعال اقلیمی و استفاده کمتر از سیستم‌های تهویه مطبوع لحاظ شود.



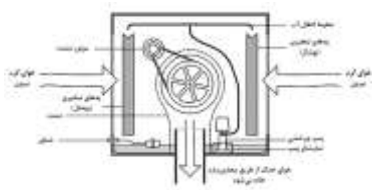
راهبرد ٤ (رهنمود ۳): تنظیم نحوه گرمایش سیستم تهویه مطبوع براساس نوع فعالیت و بازه‌های زمانی مختلف نوع کاربری از محیط ساختمان. توجه به نوع فعالیت و نحوه اشتغال ساختمان بسیار در مقوله مصرف انرژی مهم تلقی می‌شود تا با توجه به نیاز معقول برای دستیابی به آسایش حرارتی بتوان گام برداشت.



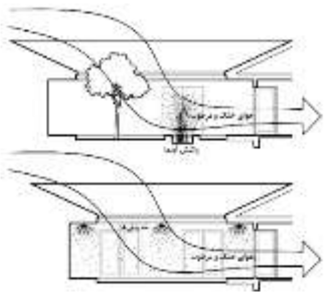
راهبرد ۵ (رهنمود ٦۰): سرپناه زمینی، زیرزمین‌های مسکونی یا لوله‌های نصب‌شده در عمق زمین بارهای گرمایی را در آب و هوای خشک بسیار کاهش می‌دهند؛ زیرا دما در عمق زمین نزدیک به دمای متوسط سالانه باقی خواهد ماند. توجه به تعادل دمایی لایه‌های زیرسطحی و امکان فراهم شدن آسایش حرارتی در فصول مختلف سال با توجه به تغییرات کمتر دمایی در این لایه‌ها، نشان از اهمیت راهبرد طراحی بناهای زیرسطحی و زیرزمین‌ها دارد که با کمترین میزان مصرف انرژی می‌توان به معماری سازگار با اقلیم دست یافت.



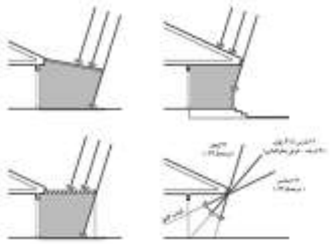
راهبرد ۷ (رهنمود ٤٥): سقف‌های صاف، به‌طور خاص زمانی که به رنگ روشن رنگ‌آمیزی شوند، می‌توانند در اقلیم‌های گرم و خشک بسیار کاربردی باشند. توجه به نوع و رنگ مصالح ساختمانی در مناطق گرم و خشک به‌علت دریافت بیشتر انرژی خورشیدی در فصل تابستان مهم قلمداد خواهد شد تا سازگاری ساختمان با اقلیم و بحث انرژی در حد معقول تعادل یابد.



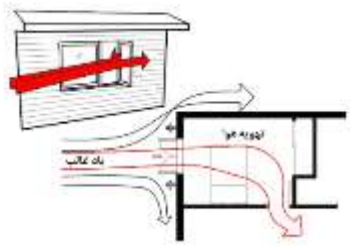
راهبرد ٦ (رهنمود ۵۰): خنک‌کننده تبخیری می‌تواند ظرفیت سرمایشی را تا اندازهٔ مناسبی تأمین کند؛ البته اگر دسترسی به آب ممکن باشده و رطوبت هوا نیز کم باشد. به همین صورت می‌توان شاهد کاهش یا حذف سیستم تهویه مطبوع بود. استفاده از سیستم‌های سرمایش تبخیری یا همان کولرهای آبی با توجه به رطوبت کم هوا در شهر مشهد می‌تواند در راستای تحقق آسایش اقلیمی مهم تلقی شود.



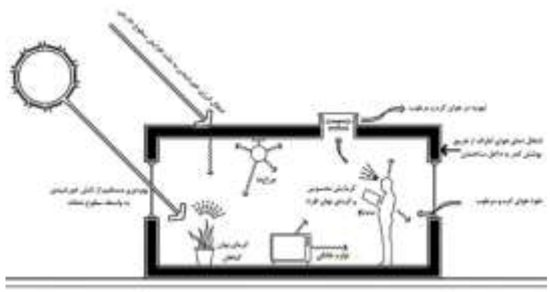
راهبرد ۸ (رهنمود ۲۹): هوای گرم و خشک را قبل از ورود به ساختمان از فضاهای بسته بیرونی با چشمه‌های افشانه آب مانند مَه‌پاش، پیاده‌روی مرطوب نظیر چمن و برج‌های خنک‌کننده مرطوب کنید. استفاده از افشانه‌های آب برای تغییر دادن ماهیت هوای گرم و خشک بیرون از واحد مسکونی به‌ویژه در ماه‌های گرم سال در مشهد که شاهد تنش‌های گرمایی قوی است، بسیار اهمیت دارد تا پیش از ورود چنین توده‌های هوایی ماهیت آن‌ها را تغییر دهیم یا آن‌ها را تعدیل کنیم.



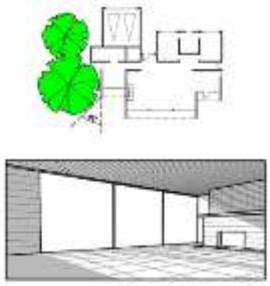
راهبرد ۹ (رهنمود ۳۷): نمای بالای پنجره در عرض جغرافیایی شهر مشهد یا سایه‌اندازهای تاشو می‌توانند به کاهش یا حذف سیستم‌های تهویه مطبوع منجر شوند. ایجاد سایه‌اندازهای متحرک در اقلیم شهر مشهد می‌تواند با توجه به فصول و دریافت مقادیر مختلف انرژی خورشیدی متناسب با آن و در زاویه‌ای بهینه تنظیم شود.



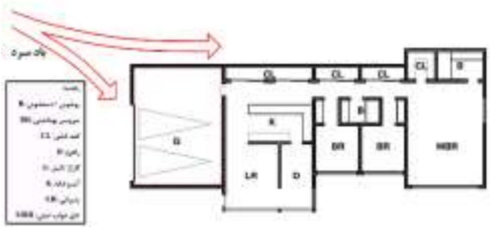
راهبرد ۱۰ (رهنمود ۳۵): تهویه طبیعی مناسب می‌تواند به حذف یا کاهش استفاده از سیستم تهویه هوا، در هوای گرم منجر شود. در راستای تحقق معماری سازگار با اقلیم، بهتر است جهت‌گیری پنجره‌ها به سمت باد غالب که در شهر مشهد در ضلع جنوبی ساختمان و تاحدی جنوب شرقی است، قرار گیرد تا تهویه طبیعی تا حد قابل‌قبولی میسر شود.



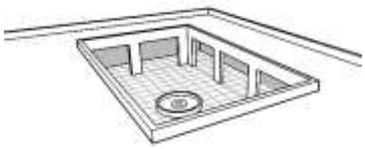
راهبرد ۱۱ (رهنمود ۱۱): حرارت کسب‌شده از طریق لامپ‌ها، افراد و تجهیزات می‌تواند به‌خوبی نیازهای حرارتی ساختمان را کاهش دهد؛ بنابراین مقاوم‌سازی ساختمان و عایق‌سازی آن می‌تواند نقطه تعادل دمایی را کاهش دهد. نحوه عایق‌بندی ساختمان و گرمایش نهان و محسوس همه آیتم‌های اشغال‌شده در فضای ساختمان می‌تواند گامی مؤثر در کاهش مصرف انرژی درون ساختمان به‌ویژه در شهر مشهد باشد.



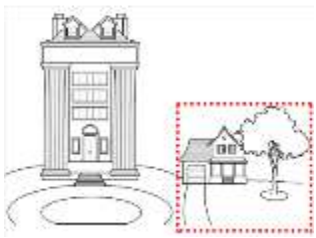
راهبرد ۱۲ (رهنمود ۳۱): تنظیم پلان کف ساختمان به‌نحوی باشد که نور خورشید در فصل زمستان بتواند در طول روز به فضاهای استفاده‌شده با توابع خاصی نفوذ داده شود که با جهت‌گیری خورشیدی منطبق است. با توجه به دریافت بیشتر نور خورشید در ضلع جنوبی مناطق شهری در نیمکره شمالی و به‌ویژه در شهر مشهد، لازم است پنجره‌های ضلع جنوبی ساختمان‌ها بلند در نظر گرفته شود.



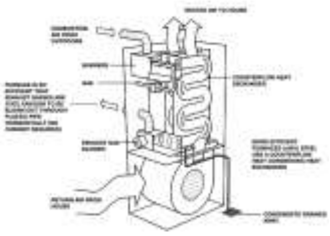
راهبرد ۱۳ (رهنمود ۱٤): مکان‌گزینی گاراژها یا انبارها برای کمک به عایق‌سازی ساختمان باید به‌نحوی باشد که این قسمت‌ها در پهلوهای ساختمان قرار گیرند تا مانعی در برابر وزش سردترین باد باشند. با توجه به وزش باد ملایم و خنک از سمت جنوب به شهر مشهد، بهتر است بخش‌هایی از منزل که کمتر استفاده می‌شود و محل رفت و آمد است، در این قسمت از ساختمان‌ها تعبیه نشود تا با استفاده از همین راهبرد بتوان مصرف انرژی‌های سرمایشی و گرمایشی ساختمان‌ها را تا حد مناسب کاهش داد.



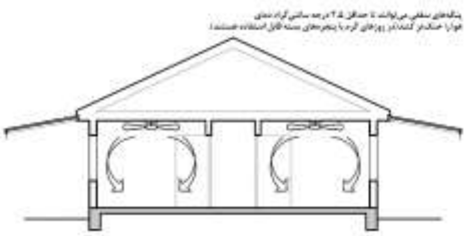
راهبرد ١٤ (رهنمود ٦٦): خانه‌های سنتی واقع در مناطق خشک که باد گرم در آنجا می‌وزید، فواره‌ای را برای تأمین حفاظت در مقابل این بادها و ایجاد خرد اقلیم در ساختمان قرار می‌داد. استفاده از فواره در مسیر جریان بادهای گرم و خشک به‌ویژه در فصل تابستان و تیر ماه به‌علت دمای بالای هوا می‌تواند تا حدی راهبردهای غیرفعال اقلیمی را توسعه دهد.



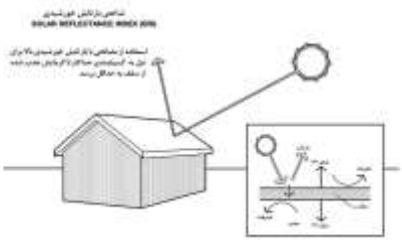
راهبرد ۱۵ (رهنمود ۱۸): تا حد ممکن ساختمان کوچک باشد؛ چون مساحت بیش از اندازه بنا می‌تواند به هدررفت انرژی سرمایشی و گرمایشی ساختمان منجر شود. یکی از مهم‌ترین راهبردهای طراحی‌های معماری سازگار با اقلیم، توجه به ارتباط بین بعد خانوار و حجم بناست؛ به همین دلیل می‌تواند تمامی بخش‌های ساختمان توان کاربری مناسب داشته باشد و در استفاده و تعداد سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی تعادل برقرار کند.



راهبرد ١٦ (رهنمود ١٥): سیستم حرارت مرکزی با راندمان زیاد و بسته به نوع کاربری و مساحت واحد مسکونی باید تهیه و نصب شود.



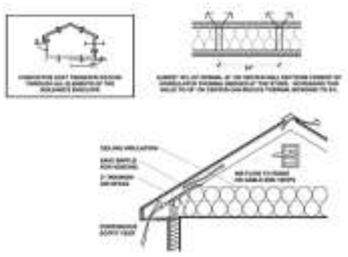
راهبرد ۱۷ (رهنمود ٤٢): در روزهای گرم پنکه‌های سقفی یا حرکت هوای داخل ساختمان می‌توانند احساس خنکی را ۲٫۸ درجه سانتی‌گراد یا بیشتر تأمین کنند؛ به همین دلیل نیاز به تهویه مطبوع کمتر می‌شود. به‌دلیل شرایط اقلیمی شهر مشهد، می‌توان با بسته نگه داشتن پنجره‌ها و با استفاده از فن‌های تعبیه‌شده در سقف‌ها گرمایش محسوس را تاحدی قابل‌توجه کاهش داد و به این ترتیب بازه آسایش حرارتی افراد را در محیط ساختمان افزایش داد.



راهبرد ۱۸ (رهنمود ٤٣): به‌کارگیری مصالح رنگ‌آمیزی‌شده به رنگ روشن و بام‌های خنک (توان گسیل مندی زیاد) می‌تواند موجب به حداقل رساندن حرارت اکتسابی در ساختمان شود. توجه به نوع مصالح و سطح عایق بودن آن‌ها و گسیل‌مندی زیاد آن‌ها برای دفع انرژی مازاد تابشی دریافت‌شده از خورشید مؤثر است و همچنین از هدررفتن انرژی داخل ساختمان تا حد ممکن جلوگیری شود.



راهبرد ۱۹ (رهنمود ۸): حفاظت از ساختمان در برابر فضاهایی که درمعرض بادهای گرم تابستانی هستند و توسعه فضای مسکونی به محیط‌های با هوای خنک. با توجه به ضرورت دسترسی به فضاهای باز باید این مورد موضوع در نظر گرفته شود که ساختمان در فصل تابستان کمتر درمعرض وزش جریان هوای گرم قرار گیرد و سعی شود که دسترسی به فضاهای خنک مقدور شود.



راهبرد ۲۰ (رهنمود ٤): عایق اضافی (عایق فوق‌العاده) ممکن است مقرون به صرفه باشد و با یکنواخت نگه داشتن دمای داخل خانه، راحتی سرنشینان را افزایش دهد. توجه به نوع عایق‌بندی دیواره‌های ساختمان و امکان گردش هوا در تمامی فضاهای داخلی ساختمان میسر شود و عایق‌بندی فضاهای بیرونی و دیوارهایی که با محیط بیرون از ساختمان در تماس هستند در بهترین حالت باشند و دیوارهای داخلی سبک و با عایقی کمتر تعبیه شوند تا تبادل دمایی در داخل ساختمان با سهولت بیشتری انجام شود.

شکل ۷. مجموعه راهبردهای بهینه برای دستیابی به طراحی‌های معماری سازگار با اقلیم شهر مشهد

مأخذ: رهنمودهای نرم‌افزار مشاور اقلیمی، نسخه ٦

٤. نتیجه‌گیری

آب و هوا ازجمله مهم‌ترین عوامل محیطی است که می‌تواند نقش مؤثری در طراحی اقلیمی ساختمان‌ها و شهرسازی داشته باشد که هدف چنین طراحی‌هایی کاستن از هزینه‌های گرمایشی و سرمایشی ساختمان‌ها و استفاده از انرژی‌های غیرفعال اقلیمی برای ایجاد محدوده بیشتری از آسایش حرارتی در ساختمان‌هاست. براساس بررسی‌ها مشخص شد که وزش باد غالب در شهر مشهد از سمت جنوب و جنوب شرقی است و به‌طورکلی، باد آرام در فصل زمستان و در همین جهات خواهد وزید. همچنین براساس ساعات آفتابی می‌توان گفت، بیشترین تابش نور خورشید در ضلع جنوبی ساختمان‌ها دریافت خواهد شد. نتایج حاصل از بررسی درجه روزهای گرمایشی و سرمایشی نیز بیانگر بیشترین نیاز گرمایشی در دی ماه (ژانویه) و بیشترین نیاز سرمایشی در تیر ماه (جولای) است که این امر بیانگر نیاز به برآورد میزان مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی در این ماه‌هاست. تحلیل تنش‌های حرارتی شاخص (UTCI) نیز حاکی از آن است که به‌طورکلی در ماه دی شرایط نبود آسایش در کل ساعات شبانه‌روز حاکم است و بیشترین بازه بدون تنش به ماه اردیبهشت (می) متعلق خواهد بود.

به‌طورکلی، با توجه به اقلیم شهر مشهد و نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل‌ها، درمجموع بیست راهبرد برای طراحی معماری سازگار با اقلیم می‌تواند به کار گرفته شود. نتایج این پژوهش با پژوهش فرخ‌زاده و روشن (١٤٠١) که به ارائه راهکارهای غیرفعال در طراحی معماری پرداختند، در مبحث راهبردهای غیرفعال اقلیمی در راستای نیل به آسایش اقلیمی در شهر مشهد، مطابقت دارد. همچنین نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش اسماعیلی و منتظری (۱۳۹۲) در مبحث تعیین محدوده‌های بیوکلیماتیک شهر مشهد، تا حد درخور ملاحظه‌ای همسوست.

کتابنامه

١. اسماعیلی، ر.، منتظری، م.، اسماعیل‌نژاد، م.، و صابر حقیقت، ا. (۱۳۹۰). پهنه‌بندی اقلیمی خراسان رضوی با استفاده از روش‌های آماری چند متغیره. *نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، *۷*(۲)، ٤٣–٥٦.

۲. اسماعیلی، ر.، و منتظری، م. (۱۳۹۲). تعیین محدوده های بیوکلیماتیک شهر مشهد بر مبنای دادهای ساعتی. *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی (مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان)*، *۲٤*(۱)، ۲۱۵-۲۲۹.

۳. انتظاری ع. ر.، میوانه، ف.، و خزاعی‌نژاد، ف. (۱۳۹۹). استراتژی‌های طراحی در معماری همساز با اقلیم (مطالعه موردی: شهر یزد). *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ٥٦(۲۰)، ۲۲۳-۲٤۰

٤. تفاخری، س.، و طاهری، ج. (۱۳۹٥). طراحی معماری همساز با اقلیم شهر مشهد. *چهارمین کنگره بین المللی عمران*، تهران.

٥. حسنی، ع.، ر.، مفیدی شمیرانی، س. م.، و روشنی، پ. (۱٤۰۱). اثرسنجی اصول طراحی شهری بر تغییر اقلیم در برش‌های عرضی (موردپژوهی: شهر مشهد). *نشریه معماری و شهرسازی پایدار*، *۱۰*(۱)، ۱۲۳-۱۳۹.

٦. داودی م.، مراد محمدی، ح.، و بای، ن. (۱۳۸۹). تجزیه و تحلیل و پیش بینی برخی عناور اقلیمی مشهد. *مجله علمی و فنی نیوار*، *۷۱*(۳٤)، ۳٥-٤٦.

۷. طاووسی، ت.، و عبدالهی، آ. (۱۳۸۹). ارزیابی شاخص‌های آسایش دمایی و معماری همساز با اقلیم روانسر. *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی دانشگاه تبریز*، ۳۲(۱٥)، ۱۲٥-۱٥۰.

۸. فرخ‌زاد، م.، و روشن، غ. (۱٤۰۱). پیشنهاد اطلس زیست اقلیمی در ایران جهت دست‌یابی به راهبردهای معماری همساز با اقلیم. *نشریه نامه معماری و شهرسازی*، *۱٤*(۳٤)، ٤٥-٦۹.

۹. فیضی، م.، مهدیزاده سراج، ف.، و ثابتی اشجعی، ش. (۱۳۹۳). ارائه راهکارهای موردنیاز در معماری همساز با اقلیم در شهر مشهد در جهت نیل به آسایش حرارتی. *پژوهشنامه خراسان بزرگ*، *۱٥*(٥)، ۱۲۱-۱۳۱.

۱۰. گرجی مهلبانی، ی.، یاران، ع.، پروردی‌نژاد، س.، و اسکندری، م. (۱۳۹۰). ارزیابی معماری همساز با اقلیم در خانه‌های کاشان. *آرمانشهر*، *۷*(٤)، ۳۱-٤۱.

۱۱. مجتبوی، س. م.، عبداله‌زاده، ن.، و سرمدی، ص. (۱٤۰۱). واکاوی مؤلفه‌های مؤثر بر ارتقاء سلامت در فضای مسکونی در دوران کرونا و پساکرونا (نمونه‌ی موردی: مجتمع مسکونی ششصد دستگاه مشهد). *نشریه مطالعات هنرهای زیبا*، ۲(٦)، ۱۳-۲۱.

12. Benoudjafer, I. (2022). When social practices produce space and create passive cooling systems in hot arid region. *Technium Social Sciences Journal*, *27*, 932-944.

13. Blazejczyk, K., Jendritzky, G., Bröde, P., Fiala, D., Havenith, G., Epstein, Y., & Kampmann, B. (2013). An introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *Geographia Polinica*, *86*(1), 5-10.
14. Bröde, P., Fiala, D., Błażejczyk, K., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B., & Havenith, G. (2012). Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *International Journal of Biometeorology*, *56*(3), 481-494.
15. Clark, G., & Allen, C. (1978). The estimation of atmospheric radiation for clear and cloudy skies. Paper presented at the *Proceedings of the 2nd National Passive Solar Conference (AS/ISES)*, University of Pennsylvania.
16. Crawley, D., Lawrie, L. (2019). Should we be using just ‘Typical’weather data in building performance simulation? Paper presented at the *Proceedings of the Building Simulation International Conference*, Rome, Italy.
17. Cuce, E., Farooq Sher, Hamad Sadiq, Pinar Mert Cuce, Tamer Guclu, Ahmet B. Besir. (2019). Sustainable ventilation strategies in buildings: CFD, research, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *36*, 100540.
18. Emmanuel, R. (2005). Thermal comfort implications of urbanization in a warm-humid city: the Colombo Metropolitan Region (CMR), Sri Lanka. *Building and Environment*, *40*(12), 1591-1601.
19. Hui, S. C., & Cheung, K. (1997). Climatic data for building energy design in Hong Kong and Mainland China. Paper presented at the *CIBSE National Conference*, London, UK.
20. Jiang, F., Li, X., Wei, B., Hu, R., & Li, Z. (2009). Observed trends of heating and cooling degree-days in Xinjiang Province, China. *Theoretical and Applied Climatology*, *97*(3), 349-360.
21. Li, Q., Zhang, L., Zhang, L., & Wu, X. (2021). Optimizing energy efficiency and thermal comfort in building green retrofit. *Energy*, *237*, 121509.
22. Milne, M., Liggett, R., & Al-Shaali, R. (2007, July). Climate consultant 3.0: A tool for visualizing building energy implications of climates. Paper presented at the *Proceedings of the Solar Conference* (Vol. 1). American Solar Energy Society, American Institute of Architects.
23. Terjung, W. (1968). World patterns of the distribution of the monthly comfort index. *International Journal of Biometeorology*, *12*(2), 119-151.
24. Walton, G. N. (1983). *Thermal analysis research program reference manual*. Washington, DC: National Bureau of Standards.
25. Watson, D., & Labs, K. (1983). *Climatic design: Energy-efficient building principles and practices*. New York: McGraw-Hill.